Е. К. Сонин

Любительские измерительные приборы на транзисторах

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

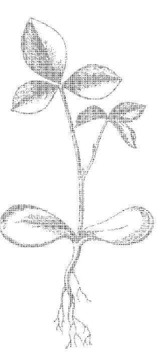


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 427

Е. К. СОНИН

ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ







ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

Описаны схемы и конструкции нескольких самодельных измерительных приборов (милливольтметр звуковых частот, универсальный прибор, генераторы низкой и высокой частоты и др.), выполненных на транзисторах.

Брошюра предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

СОДЕРЖАНИЕ

6Ф2.08 *Сонин Евгений Константинович*

С62 **Любительские измерительные приборы на транзисторах**

Госэнергоиздат, 1961

40с. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 427)

6Ф2.08

Редактор *В. М. Большов* Техн. редактор *М. М. Широкова*

Сдано в набор 14/VII 1961 г. Подписано к печати 17/X 1961 г.
Т-12205 Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ 2,05 п. л. Уч-изд. л. 2,2
Тираж 50 000 Цена 9 коп. Заказ 402

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

МИЛЛИВОЛЬТМЕТР ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

Милливольтметры звуковых частот применяются для измерения величины сигнала синусоидальной формы в генераторах и усилителях низкой частоты, для определения коэффициентов усиления и снятия амплитудно-частотных характеристик усилителей и для многих других измерений. Такие милливольтметры должны иметь высокую чувствительность (не хуже 10 *мв* на всю шкалу) для измерения сигнала во входных цепях усилителей, высокое входное сопротивление, чтобы подключение милливольтметра не изменяло режима и свойств исследуемой схемы, большой динамический диапазон, чтобы измерять сигнал во всех каскадах усиления.

Точность измерения не должна изменяться в пределах рабочего диапазона частот, а также при изменениях напряжения питания и температуры окружающей среды.

На рис. 1 приведена принципиальная схема милливольтметра звуковых частот чувствительностью от 3 *мв* до 300 *в* на шкалу. Весь диапазон измеряемых напряжений разбит на шесть поддиапазонов: 0—3 *мв*, 0—30 *мв*, 0—300 *мв*, 0—3 *в*, 0—30 *в*, 0—300 *в*. Входное сопротивление прибора на частоте 1 *кгц* на пределе 3 *мв* равно 9 *ком*, а на других пределах (кроме 300 *в*) — 2,7 *Мом/в*. В диапазоне частот от 40 *гц* до 10 *кгц* ошибка измерений не превышает 15%. При уменьшении напряжения питания на 20% дополнительная ошибка измерений не превышает 6%.

В милливольтметре применен усилитель низкой частоты с большим коэффициентом усиления. С делителя входного напряжения R_1—R_{11} измеряемый сигнал подается на первый каскад усилителя, собранный по схеме с общим эмиттером. Сопротивление R_{14} в эмиттерной цепи транзистора T_1 стабилизирует ток эмиттера и слу-

жит для создания отрицательной связи по току. Введение отрицательной обратной связи стабилизирует усиление каскада и увеличивает входное сопротивление усилителя, что повышает общее входное сопротивление милливольтметра.

Коллектор транзистора T_1 непосредственно соединен с базой следующего транзистора T_2, включенного по схеме с общим коллектором. Смещение транзистора T_2

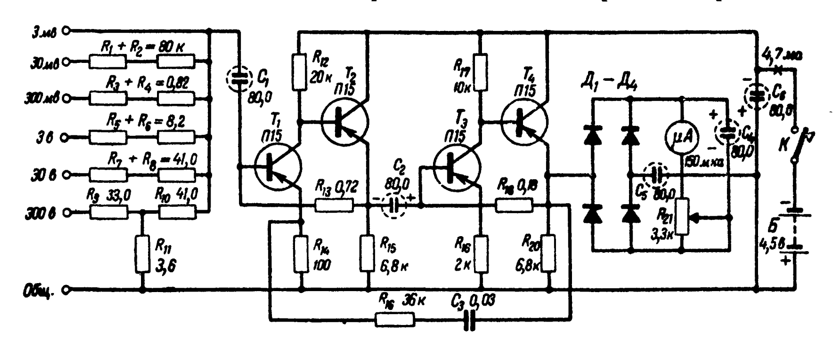


Рис. 1. Принципиальная схема милливольтметра.

зависит от напряжения на коллекторе T_1 и, следовательно, от режима этого транзистора. Смещение же на базу транзистора T_1 подается через сопротивление R_{13} с эмиттера транзистора T_2.

При таком включении происходит взаимная стабилизация режимов обоих транзисторов при изменении температуры. Например, при увеличении температуры ток коллектора транзистора T_1 увеличивается. Увеличивается и коллекторный ток транзистора T_2. Однако увеличение тока через сопротивление R_{12} сопровождается уменьшением отрицательного напряжения на коллекторе транзистора T_1 и, следовательно, на базе транзистора T_2. Вследствие этого коллекторный ток транзистора T_2 уменьшается, отрицательное напряжение на его эмиттере также уменьшается, а это вызывает уменьшение коллекторного тока транзистора T_1. Диапазон температур, в пределах которого эффективен такой метод стабилизации режима, тем шире, чем больше коэффициент усиления по напряжению обоих каскадов.

За счет отрицательной обратной связи по сигналу (через сопротивление R_{13}) осуществляется дополнитель-

ная стабилизация коэффициента усиления усилителя. Отсутствие переходного конденсатора улучшает частотную характеристику усилителя на низших частотах и уменьшает паразитную емкость на землю с коллектора транзистора T_1. Коэффициент усиления обоих каскадов по напряжению с базы T_1 до эмиттера T_2 достигает 36 *дб* (64 раза) при выходном сопротивлении каскада на транзисторе T_2 около 1 *ком*.

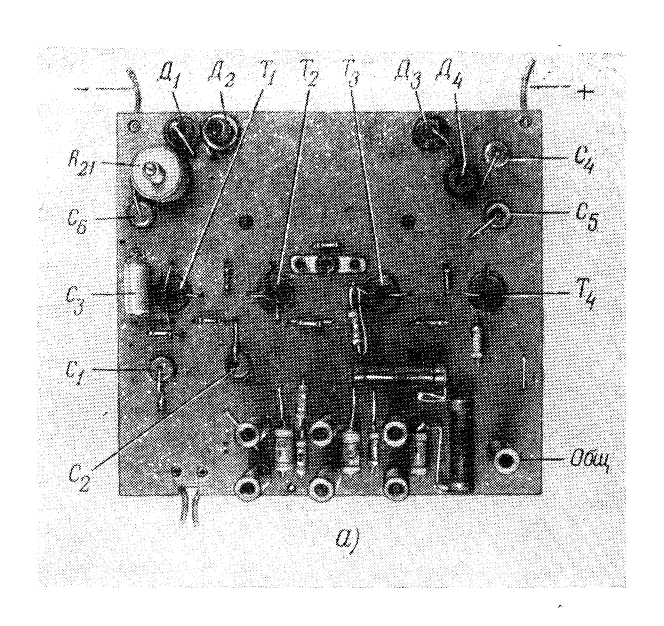
С эмиттера транзистора T_2 сигнал подается на вторую аналогичную усилительную пару каскадов на транзисторах T_3 и T_4. Каскадом на транзисторе T_3 осуществляется дальнейшее усиление сигнала для получения необходимой чувствительности прибора. Каскад же с общим коллектором на транзисторе T_4 применен для уменьшения выходного сопротивления усилителя и получения на выходе мощности, достаточной для нормальной работы измерительного моста.

Чередование каскадов с общим эмиттером и общим коллектором позволяет получить наилучшие условия их согласования.

Чтобы избежать ошибки при измерении напряжений различных частот, коэффициент усиления всего усилителя должен быть постоянным в диапазоне частот от 40 *гц* до 10 *кгц*. Однако вследствие относительно небольшой величины входных сопротивлений каскадов при ограниченной величине емкости переходных конденсаторов усиление усилителя на низких частотах падает. Для повышения относительного усиления на низших частотах производится подавление усиления на более высоких частотах рабочего диапазона введением частотно-зависимой отрицательной обратной связи с эмиттера транзистора T_4 на эмиттер транзистора T_1 через цепь $R_{16}C_3$. Амплитудно-частотная характеристика при этом равномерна во всем диапазоне рабочих частот в пределах 2 *дб*.

В измерительном мосте использованы плоскостные германиевые диоды ($Д_1$—$Д_4$) типа Д7В, имеющие малое сопротивление перехода в прямом направлении. Линейность шкалы милливольтметра достигается подбором сопротивления R_{21}, включенного последовательно с рамкой микроамперметра μA. Шкала прибора нелинейна лишь на начальном участке каждого поддиапазона.

Милливольтметр смонтирован на гетинаксовой плате



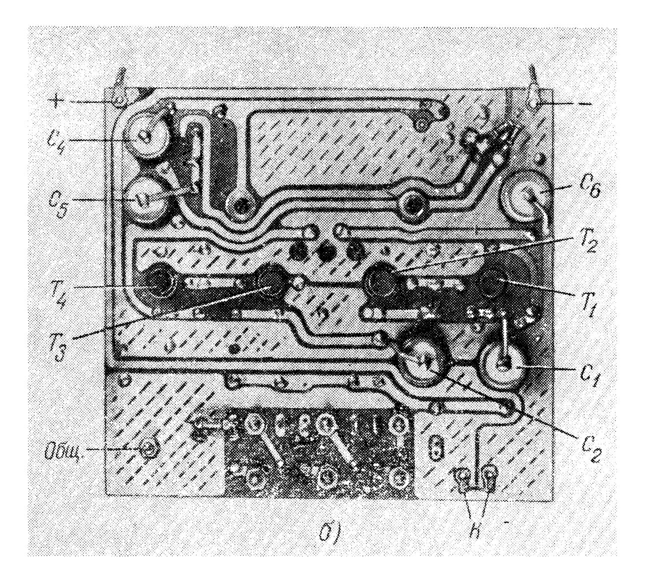


Рис. 2. Монтажная плата милливольтметра.

размерами 115×125 *мм*. Детали схемы размещены на одной стороне платы (рис. 2), а монтажные перемычки выполнены печатным способом на другой ее стороне. Плата крепится к зажимам микроамперметра (типа М24). В нижней части платы укреплены хвостовики

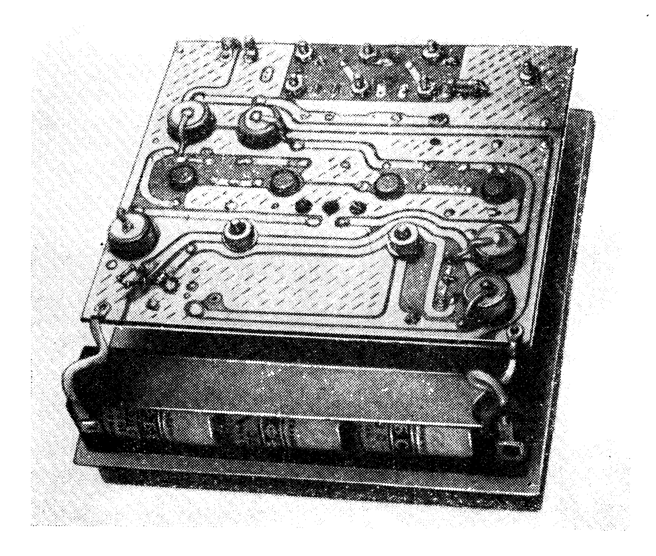


Рис. 3. Внутренний вид милливольтметра.

входных гнезд прибора, что повышает жесткость установки платы. Три гальванических элемента типа ФБС-0,25 для питания прибора помещаются в специальном патроне над микроамперметром (рис. 3).

Микроамперметр, входные гнезда и кнопка *К* расположены на лицевой панели из органического стекла размерами 135×145 *мм*. Кнопка *К* служит для включения источника питания во время измерений.

Милливольтметр помещен в коробку из органического стекла молочного цвета размерами 135×145×45 *мм*. Внешний вид прибора показан на рис. 4.

Печатный монтаж выполняется на фольгированном гетинаксе толщиной 2 *мм*. Рисунок монтажа делается карандашом на фольге и все линии аккуратно процарапываются скальпелем. Затем тонкой кисточкой (а на

закругленных и тонких линиях рейсфедером) те места, которые после травления должны остаться проводимыми, покрываются шеллачным лаком примерно такой густоты, как свежий клей БФ-2. Когда лак подсохнет, острым скальпелем подравнивают края получившегося рисунка, плата чистится мягкой резинкой и травится

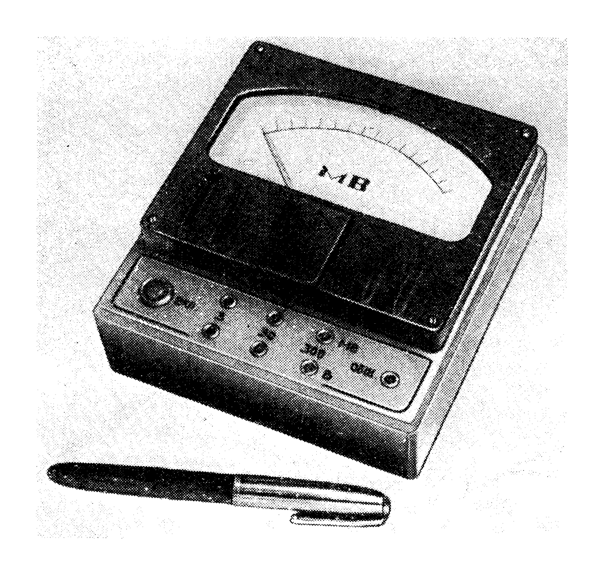


Рис. 4. Внешний вид милливольтметра.

в растворе хлорного железа плотностью 0,6. Время травления зависит от плотности раствора и толщины слоя фольги и в среднем равно 10 *мин*.

После того, как травление закончено, плата тщательно промывается в проточной воде и с нее спиртом смывается лак. Для облегчения пайки фольга на монтажных перемычках может быть посеребрена. Для этого надо сначала тщательно обезжирить фольгу. Чернильной резинкой с нее стирается пленка окиси и она несколько раз промывается ацетоном и спиртом. При недостаточном обезжиривании серебро плохо сцепляется с фольгой. Очищенная и обезжиренная плата опускается на 15 *мин* в отработанный раствор фотографического гипосульфита, где на нее осаждается серебро. Для того,

чтобы покрытие получилось равномерным, плату в гипосульфите нужно все время протирать ватным тампоном.

Пайку деталей надо производить быстро и осторожно, так как при сильном перегреве слой фольги может отставать от гетинаксовой платы.

Налаживание прибора сводится к установке его чувствительности и подбору сопротивлений входного делителя.

От генератора звуковой частоты (типа ЗГ-10 или подобного ему) на гнезда «*общ.*» и «3 *мв*» подается напряжение величиной 3 *мв* (действующее значение) с частотой 1 000 *гц*, и регулировкой сопротивления R_{21}, стрелка микроамперметра устанавливается на деление, соответствующее 130 *мка*. На шкале милливольтметра это деление будет соответствовать 3 *мв*. Деление 120 *мка* соответствует 2,8 *мв*, деление 110 *мка* соответственно 2,6 *мв* и т. д.

При правильной градуировке большие деления шкалы микроамперметра, соответствующие десяткам микроампер, будут совпадать с четными значениями шкалы милливольтметра (кроме первых двух делений). Поэтому для милливольтметра можно использовать шкалу микроамперметра на 150 *мка*.

Добавочное сопротивление на каждом поддиапазоне состоит из двух сопротивлений. В качестве одного из них (R_1, R_3, R_5, R_7, R_9) берется стандартное сопротивление ближайшего меньшего номинала, а второе сопротивление подбирают опытным путем.

Для этого вместо сопротивлений R_2, R_4, R_6,R_8 и R_{10} ставят переменные сопротивления, и от звукового генератора на гнезда «30 *мв*», «300 *мв*» и т. д. подается сигнал соответствующей величины. Подбором сопротивлений R_2, R_4, R_6, R_8 и R_{10} (в зависимости от поддиапазона) устанавливают стрелку микроамперметра на деление 130 *мка*. Величины переменных сопротивлений измеряют, и на их место ставятся постоянные сопротивления измеренной величины.

ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Основным недостатком широко распространенного вольтметра, состоящего из миллиамперметра магнитоэлектрической системы и добавочного сопротивления,

включенного последовательно с ним, является относительно низкое входное сопротивление. Поэтому подключение такого прибора для измерения к высокоомным цепям может вызвать изменение режима работы измеряемой схемы. Применение в вольтметре усилителя постоянного тока на транзисторах позволяет повысить чувствительность прибора, а следовательно и входное

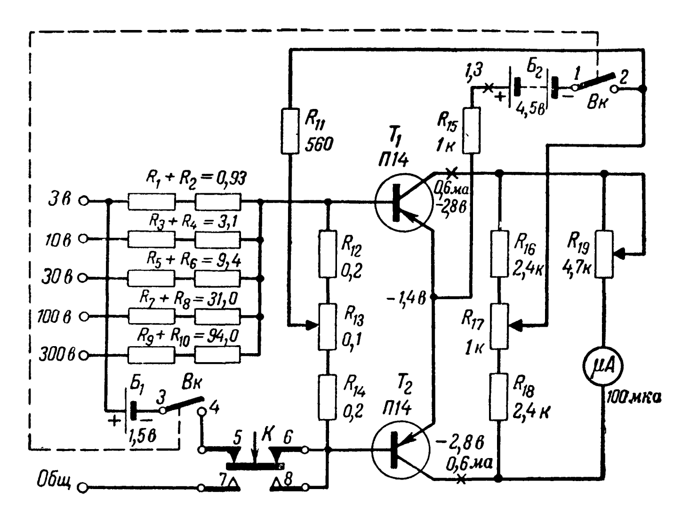


Рис. 5. Принципиальная схема вольтметра постоянного тока.

сопротивление вольтметра, пропорционально коэффициенту усиления усилителя постоянного тока.

На рис. 5 приведена принципиальная схема вольтметра, в котором для усиления измеряемого тока использованы два транзистора. Прибор предназначен для измерения постоянных напряжений от 3 до 300 *в* (на шкалу). Весь диапазон измеряемых напряжений разбит на пять поддиапазонов: 0—3 *в*, 0—10 *в*, 0—30 *в*, 0—100 *в* и 0—300 *в*. Входное сопротивление вольтметра равно 310 *ком/в*. Ошибка измерений при колебаниях напряжения питания прибора в пределах ±20% не превышает ±2%.

Прибор работает следующим образом. Измеряемое напряжение подводится к одному из гнезд входного делителя и к общему гнезду «*общ.*». Входной ток, вели-

чина которого определяется измеряемым напряжением и добавочными сопротивлениями (R_1—R_{10}), протекает через промежутки база — эмиттер транзисторов T_1 и T_2, работающих в схеме параллельно-балансного усилителя постоянного тока.

Схема параллельного баланса выбрана в основном потому, что она позволяет сбалансировать изменения коллекторного тока транзисторов в широком диапазоне окружающих температур. При увеличении температуры коллекторные токи обоих транзисторов возрастают, однако через микроамперметр они протекают в противоположных направлениях. Если характеристики транзисторов близки, то изменения коллекторного тока в обоих транзисторах примерно одинаковы, а разностный ток через микроамперметр равен нулю.

Практически подобрать транзисторы с одинаковыми характеристиками довольно трудно. Но даже при двух произвольных однотипных транзисторах температурная стабильность схемы достаточно высока. Повышение стабильности и уравнивание характеристик транзисторов достигаются включением в эмиттерные цепи общего сопротивления R_{15} относительно большой величины. За счет возникающей отрицательной обратной связи по току происходит стабилизация эмиттерных токов транзисторов.

Ток измеряемого напряжения протекает через переходы база — эмиттер транзисторов T_1 и T_2 в противоположных направлениях. Поэтому микроамперметр μA показывает суммарное значение вызванных им изменений коллекторных токов транзисторов.

Ток смещения на базы транзисторов подается через сопротивления R_{11}—R_{14}, причем потенциометр R_{13} служит для балансировки схемы (установки нуля). Микроамперметр чувствительностью 100 *мка* включен между нагрузочными сопротивлениями R_{16}—R_{18} усилителя. Потенциометром R_{17} производится начальное симметрирование коллекторных токов усилителя при настройке.

Для калибровки прибора во время работы используется гальванический элемент $Б_1$. Стрелка микроамперметра при правильно откалиброванном приборе будет совпадать с делением шкалы, соответствующим значению э. д. с. батареи. Одновременно отклонение стрелки при калибровке используется для индикации включения

прибора. Поэтому цепь калибровки включается на вход вольтметра одновременно с подачей питания на усилитель через контакты *1* и *2* выключателя *Вк*. Для измерения напряжений нажимают на кнопку *К*. При этом контакты *5* и *6* размыкают цепь калибровки, а контакты *7* и *8* включают на вход усилителя гнездо «*общ.*».

Конструктивно прибор оформлен подобно милливольтметру звуковых частот и имеет те же размеры. Несколько изменена только лицевая панель прибора, на которую дополнительно вынесена ручка установки нуля (потенциометр R_{13}).

Налаживание вольтметра сводится в основном к начальной балансировке усилителя и подбору добавочных сопротивлений R_1—R_{10} входного делителя. Для балансировки усилителя разрывается цепь смещения транзисторов (отсоединяется один из выводов сопротивления R_{11}) и регулировкой потенциометра R_{17} стрелка микроамперметра устанавливается на нуль. После этого движок потенциометра R_{17} заливается краской или клеем БФ-2 для сохранения найденного положения баланса. Такая регулировка производится 1 раз, поэтому ручка потенциометра R_{17} не выносится на лицевую панель.

При подборе величин сопротивления делителя движок переменного сопротивления R_{19}, регулирующего чувствительность микроамперметра, устанавливается в среднее положение. Сопротивления R_1—R_6 берутся типа УЛМ стандартных номиналов, R_7 и R_9 могут быть составлены из нескольких сопротивлений. Затем на каждом из диапазонов поочередно вместо вторых сопротивлений делителя включается переменное сопротивление. На входное гнездо этого диапазона подается калиброванное напряжение, и переменное сопротивление регулируется так, чтобы стрелка микроамперметра совпала с делением шкалы, соответствующим измеряемому напряжению. Подобранное таким образом сопротивление измеряется омметром и заменяется постоянным сопротивлением той же величины. На принципиальной схеме (рис. 5) указаны суммарные величины сопротивлений делителя.

Ручка переменного сопротивления R_{19} не выносится на лицевую панель, так как регулировка чувствительности прибора производится при калибровке редко (лишь по мере старения батарей).

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

В практике радиолюбителей и специалистов широко распространены авометры — универсальные измерительные приборы, в которых на базе общего измерительного элемента объединены амперметр, вольтметр и омметр. Применение в авометре усилителя постоянного тока

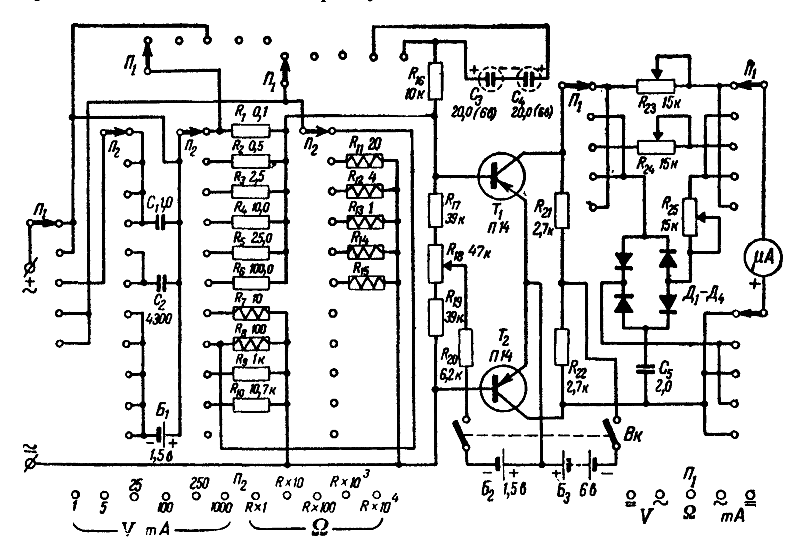


Рис. 6. Принципиальная схема универсального измерительного прибора.

позволяет повысить чувствительность измерительного элемента, что сопровождается улучшением многих параметров авометра (расширяется диапазон омметра, увеличивается входное сопротивление вольтметров постоянного и переменного тока, появляется возможность измерения малых напряжений и токов).

На рис. 6 приведена схема авометра с усилителем постоянного тока на транзисторах[1]. Авометр позволяет измерять напряжения (постоянные и переменные) от 1 до 1 000 *в* на всю шкалу, постоянный и переменный ток от 1 до 1 000 *ма* на всю шкалу и сопротивления от 1 *ом*

[1] За основу взят прибор, описанный Н. Кружковым в журнале «Радио» № 8 за 1959 г.

до 10 *Мом*. Входное сопротивление вольтметра равно 100 *ком/в*.

На рис. 7 приведены упрощенные схемы работы прибора, как вольтметра переменного тока (*а*), амперметра постоянного (*б*) и переменного (*в*) тока и омметра (*г*).

При измерении переменных напряжений (рис. 7,*а*)

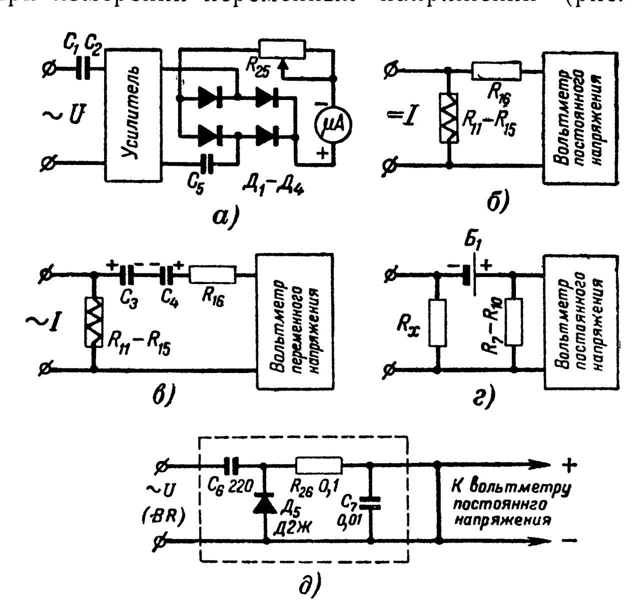


Рис. 7 Упрощенные схемы работы прибора.

последовательно с добавочными сопротивлениями включаются разделительные конденсаторы C_1 и C_2. В этом случае транзисторы работают как усилители переменного напряжения. Использование одного и того же входного делителя в вольтметре постоянного и переменного тока позволяет получить одинаковые входные сопротивления в обоих режимах. С выхода усилителя переменное напряжение через разделительный конденсатор C_5 подается на выпрямительный мост, состоящий из полупроводниковых диодов $Д_1$—$Д_4$, а затем на микроамперметр μA. Для калибровки прибора при измерении переменных напряжений используется переменное сопротивление R_{25}.

Непосредственное измерение постоянного тока в авометре заменено измерением падения напряжения на калиброванных сопротивлениях R_{11}—R_{15} за счет измеряемого тока (рис. 7,*б* и *в*). Это значительно упрощает калибровку прибора, так как при таком методе измерение производится вольтметром постоянного или переменного напряжения (в зависимости от вида измеряемого тока), и шкала амперметра полностью соответствует шкале вольтметра.

В омметре (рис. 7,*г*) измеряемое сопротивление R_x включается последовательно с батареей $Б_1$ и одним из калиброванных сопротивлений R_7—R_{10}. Напряжение батареи распределяется пропорционально величинам измеряемого и калиброванного сопротивлений. Падение напряжения на эталонном сопротивлении измеряется вольтметром постоянного тока. Установка нуля омметра производится переменным сопротивлением R_{24}.

Для измерения авометром напряжений высокой частоты используется детекторная головка, схема которой приведена на рис. 7,*д*. С помощью экранированного провода головка подключается к входным гнездам прибора. Измерения производятся вольтметром постоянного тока. Вследствие нелинейности шкалы напряжений высокой частоты отсчет результатов измерений производится по градуировочному графику.

При всех измерениях сигнал подается на пару входных гнезд, а выбор рода работы производится переключателем $П_1$. Диапазоны измерений напряжений, токов и сопротивлений изменяются переключателем $П_2$.

Сопротивления R_1—R_{15}, R_{21} и R_{22} следует подбирать с допуском не более 1% (чтобы градуировка на различных диапазонах совпадала достаточно точно). Удобнее всего каждое из этих сопротивлений составлять из двух — одного стандартной величины, близкой к указанному номиналу, и второго, дополняющего это сопротивление до требуемой величины. В этом случае подбор сопротивлений упрощается. Величина всех других сопротивлений может отличаться от указанной на 10—20%.

В авометре применен микроамперметр типа М24 чувствительностью 200 *мка*. Усилитель на транзисторах типа П14 повышает чувствительность прибора до 5—

8 *мка.* Вместо транзисторов П14 могут быть применены транзисторы П13 — П15 и П6.

Конденсатор C_2 должен быть рассчитан на рабочее напряжение не менее 1 000 *в*. Батарея $Б_1$ состоит из двух параллельно соединенных гальванических элементов типа ФБС-0,25, батарея $Б_2$ — из одного элемента, а батарея $Б_3$ — из четырех последовательно соединенных элементов. Применение элементов большей емкости практически не дает преимуществ, так как прибор потребляет небольшой ток, и срок службы элементов определяется в основном их высыханием и саморазрядом.

Налаживание авометра начинают с балансировки сопротивлением R_{18} измерительного моста на транзисторах так, чтобы стрелка микроамперметра установилась на нулевое деление шкалы. Сопротивление R_{18} не выносится на лицевую панель прибора и регулировка его производится 1 раз.

Градуировку авометра начинают со шкалы постоянных напряжений. Хорошая линейность позволяет использовать без переделок шкалу микроамперметра, поэтому градуировка сводится к подбору (сопротивлением R_{23}) необходимой чувствительности. Для этого на входные гнезда авометра подается постоянное напряжение (от батареи или выпрямителя), величина которого контролируется достаточно точным прибором. Сопротивление R_{23} регулируется так, чтобы стрелка микроамперметра совпала с делением шкалы, соответствующим величине входного напряжения. Для повышения точности градуировки входное напряжение следует выбирать равным предельному значению на данном поддиапазоне, например, 1 *в*, 5 *в* и т. д. В связи с тем, что такая калибровка производится 1 раз, ручка переменного сопротивления R_{23} на лицевую панель не выносится и после регулировки фиксируется краской.

Градуировка шкалы переменных напряжений производится по эталонному прибору таким же образом. Однако вследствие нелинейности шкалы переменных напряжений чувствительность прибора устанавливается переменным сопротивлением R_{25} лишь по крайней точке, когда стрелка микроамперметра отклоняется на всю шкалу. Затем, уменьшая измеряемое напряжение, последовательно наносят на шкалу промежуточные деления. Если сопротивления делителя подобраны точно, то гра-

дуировка, проведенная для одного диапазона, верна и для всех других диапазонов.

Градуировка шкалы омметра производится на одном поддиапазоне путем измерения эталонных сопротивлений и нанесения на шкалу соответствующих им делений.

Детекторная головка (рис. 7,*д*), применяемая при измерениях высокочастотного напряжения (на частотах выше 50 *кгц*) работает следующим образом. Во время отрицательного полупериода диод $Д_5$ открыт, и конденсатор C_6 заряжается до амплитудного значения измеряемого напряжения. Во время положительного полупериода конденсатор разряжается через внутреннее сопротивление источника сигнала, обратное сопротивление диода и входное сопротивление вольтметра постоянного тока.

Постоянная времени цепи разряда выбирается такой, чтобы напряжение на конденсаторе C_6 за время разряда не успевало уменьшиться более чем на 5—10%. Постоянная составляющая выпрямленного напряжения практически равна амплитудному значению входного напряжения. Входное сопротивление детектора определяется обратным сопротивлением диода (0,5 $R_{обр}$). Поэтому диоды в головку следует подбирать по максимальному обратному сопротивлению.

Для градуировки вольтметра в действующих значениях измеряемого напряжения постоянная составляющая выпрямленного напряжения делится на сопротивлении R_{26} и входном сопротивлении вольтметра.

Конструктивно головка может быть выполнена, например, в корпусе от авторучки или в металлической трубке и соединена со входом прибора кабелем РК-19 или проводами в экранирующей оплетке. Соединение кабеля с вольтметром можно осуществить с помощью обычной штепсельной вилки.

ПРОСТОЙ ГЕНЕРАТОР ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Для проверки работы усилителей низкой частоты, нахождения в них неисправностей и предварительной их калибровки может быть использован простейший генератор, генерирующий одну из частот в пределах звукового диапазона. Из-за громоздкой катушки контура, необходимой для работы *LC* генератора на низких

частотах, делать генератор такого вида нецелесообразно. Значительно более простым в настройке и меньшим по объему получается низкочастотный *RC* генератор.

На рис. 8 приведена схема *RC* генератора с фиксированной частотой 1 000 *гц*. При напряжении питания 1,5 *в* (один гальванический элемент типа ФБС-0,25) сигнал синусоидальной формы на выходе генератора

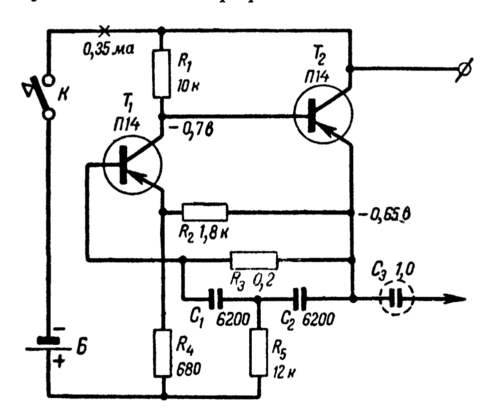


Рис. 8. Принципиальная схема генератора звуковой частоты.

имеет амплитуду 0,15 *в* при коэффициенте нелинейных искажений менее 1%. Выходное сопротивление генератора равно 700 *ом*. При уменьшении напряжения источника питания до 0,8 *в* генерация срывается.

Работает генератор следующим образом. Коллектор усилительного транзистора T_1 непосредственно соединен с базой эмиттерного повторителя на транзисторе T_2. Между эмиттером транзистора T_2 и базой транзистора T_1 включен частотно-зависимый фильтр C_1, C_2, R_3, R_5. Коэффициент передачи такого фильтра зависит от частоты и имеет резко выраженный провал на одной из частот, определяемой значением величин элементов фильтра. Так как фильтр включен в цепь отрицательной обратной связи двухкаскадного усилителя на транзисторах T_1 и T_2, то на частоте, соответствующей наименьшему коэффициенту передачи фильтра, отрицательная обратная связь оказывается наименьшей, а усиление

усилителя наибольшим по сравнению с другими частотами.

Для создания условий самовозбуждения вводится сильная положительная обратная связь включением между эмиттерами транзисторов сопротивления R_2.

За счет положительной обратной связи происходит самовозбуждение усилителя, использование же в цепи отрицательной обратной связи частотно-зависимого

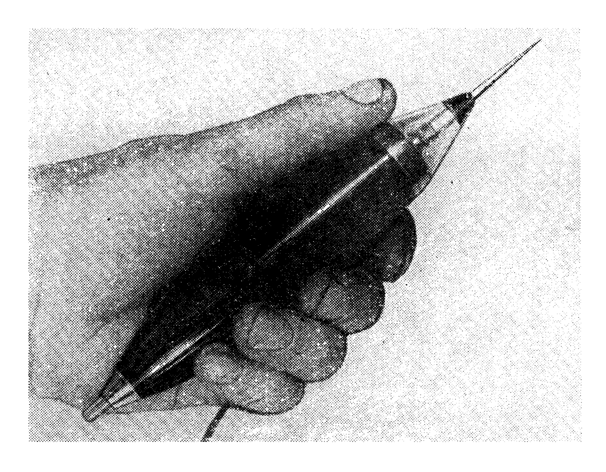


Рис. 9. Внешний вид генераторного щупа.

фильтра позволяет возбудить усилитель всегда на одной и той же частоте.

Форма генерируемых колебаний определяется величиной положительной обратной связи, создаваемой с помощью сопротивления R_2. Чисто синусоидальный сигнал, получающийся при правильно выбранном сопротивлении обратной связи, превращается в сигнал прямоугольной формы в том случае, если положительная связь слишком сильна. Очень широкий спектр генерации, получающийся при импульсном сигнале, удобно использовать как для настройки усилителей низкой частоты, так и для работы с импульсными схемами. Для работы генератора в импульсном режиме сопротивление R_2 выбирается равным 100 *ом*.

Конструктивно генератор выполнен в виде щупа,

внешний вид которого показан на рис. 9. Полная длина щупа 200 *мм*, а наибольший диаметр 33 *мм*.

Чертежи деталей щупа приведены на рис. 10. Щуп состоит из корпуса *1*, представляющего собой эбонито-

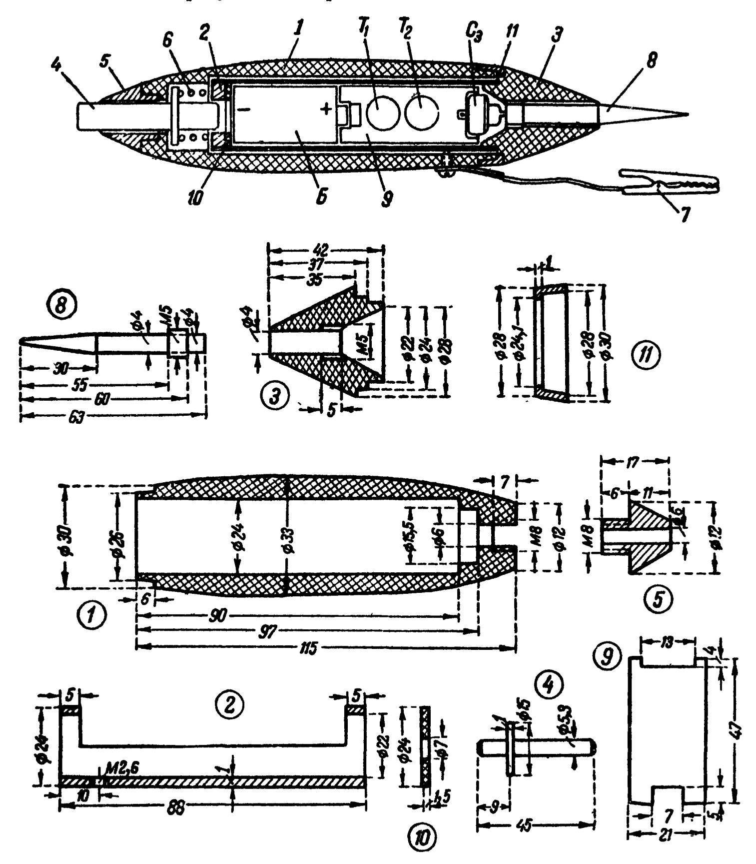


Рис. 10. Чертеж генераторного щупа.

1—корпус (эбонит); *2*—гильза (латунь); *3*—наконечник (органическое стекло); *4*—кнопка (алюминий); *5*—наконечник (алюминий); *6*—пружина; *7*—зажим; *8*—острие (латунь); *9*—монтажная пластинка (органическое стекло 2 *мм*); *10*—шайба (текстолит 1 *мм*); *11*—кольцо (алюминий).

вую трубку, латунной гильзы *2*, наконечника из органического стекла *3* с ввинченным в него латунным острием и кнопки включения питания *4* с задним наконечником *5*. Источник питания (элемент типа ФБС-0,25) рас-

положен в задней части гильзы так, что его отрицательный вывод находится против подвижного контакта кнопки, нормально отжатого пружиной. Через пружину *6* подвижной контакт кнопки электрически соединен с гильзой, являющейся корпусом прибора. При нажатой кнопке цепь питания замыкается и генератор начинает работать. Гильза щупа соединяется с шасси исследуе-

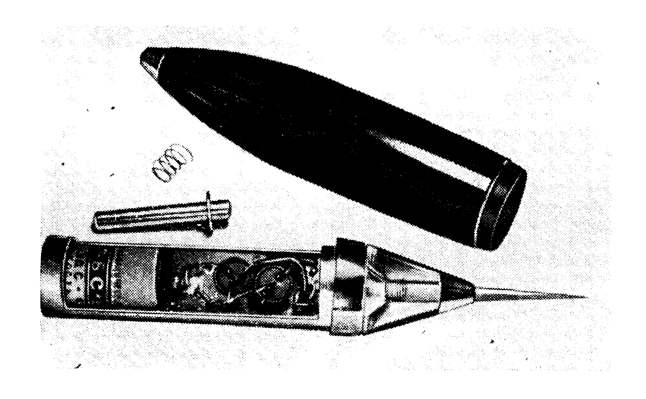


Рис. 11. Внутреннее устройство генераторного щупа.

мого усилителя гибким проводом с зажимом *7* на конце. Сигнал в усилитель подается через острие щупа *8*.

Монтаж генератора выполнен на пластинке *9* из органического стекла толщиной 2 *мм*. Транзисторы приклеены к пластинке клеем БФ-2. Выводы транзисторов ставятся перпендикулярно поверхности пластинки и прогреваются паяльником до тех пор, пока органическое стекло под ними не оплавится. Затем легким нажимом они вдавливаются в пластину. Застывшие края органического стекла надежно удерживают их от выпадания. Чтобы не перегреть переходы транзистора, между ним и паяльником вывод транзистора обжимается пинцетом, отводящим тепло. Таким же образом закрепляются на пластинке и все другие элементы схемы. Монтаж получается очень компактным и простым (рис. 11).

В генераторе применены сопротивления типа УЛМ, конденсатор C_3 типа ЭТО-1, конденсаторы C_1 и C_2 типа БМ-2. Вместо транзисторов типа П14 могут быть поставлены любые другие транзисторы.

Путем выбора параметров фильтра C_1, C_2, R_3, R_5 может быть задана любая частота генерации в пределах звукового диапазона. Величины конденсаторов и сопротивлений фильтра для получения некоторых значений фиксированных частот приведены в следующей таблице.

Таблица

Частота, *гц*	Емкость конденсаторов C_1 и C_2, *пф*	Величина сопротивления R_5, *ком*
50	100 000	12
100	50 000	12
500	10 000	12
1 000	6 200	12
2 500	2 500	12
5 000	2 500	2
10 000	1 000	2
20 000	240	2

ГЕНЕРАТОР ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С ПЛАВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ

Для снятия амплитудно-частотных характеристик усилителей и цепей с частотно-зависимыми параметрами, настройки приборов, работающих в диапазоне звуковых частот, определения частоты низкочастотных генераторов и т. п. применяются генераторы звуковой частоты с плавной перестройкой частоты по диапазону. Применение в *RC*-генераторе переменных сопротивлений для изменения частоты генерации позволяет простыми средствами осуществить перестройку в широком диапазоне частот, что обычно трудно сделать в *LC*-генераторе.

На рис. 12 приведена схема генератора звуковой частоты с диапазоном частот от 40 до 15 000 *гц*. Диапазон разбит на четыре поддиапазона: 40—200 *гц*, 200 *гц* — 1 *кгц*, 1—4 *кгц*, 4—15 *кгц*. Амплитуда выходного сигнала синусоидальной формы может регулироваться от 0 до 2 *в*. Уменьшение напряжения питания на 20% сопровождается уменьшением амплитуды выходного сигнала на 20%.

В генераторе транзистор T_1 работает в качестве усилителя, а транзистор T_2 включен по схеме эмиттерного повторителя. Между эмиттером транзистора T_2 и базой

транзистора T_1 включена трехзвенная фазосдвигающая цепь, параметры которой выбраны так, что на некоторой частоте сдвиг фазы проходящего через цепь сигнала достигает 180°. Проходя на базу транзистора T_1, этот сигнал складывается с первоначальным возмущением,

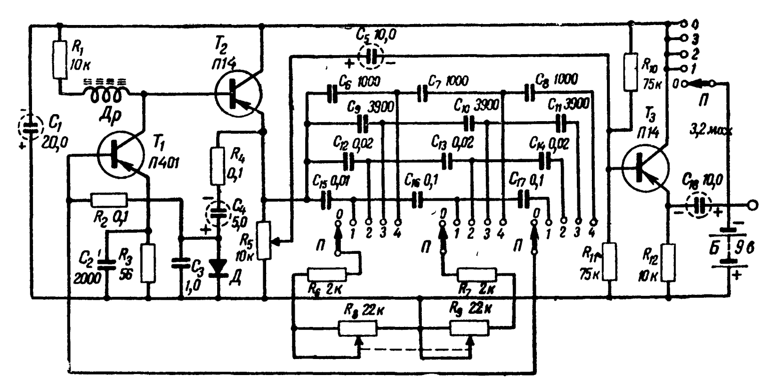


Рис. 12. Принципиальная схема генератора звуковой частоты с плавной перестройкой.

вызванным включением прибора, поддерживая в схеме непрерывные колебания на одной частоте..

Изменение частоты генерации производится изменением величин элементов фазосдвигающей цепочки, причем при переходе с одного поддиапазона на другой изменяются емкости конденсаторов цепочки, плавное же изменение частоты осуществляется сдвоенным потенциометром R_8R_9.

Для повышения стабильности работы усилителя на транзисторе T_1, в цепь эмиттера последнего включено стабилизирующее сопротивление R_3. Конденсатор C_2 введен для осуществления высокочастотной коррекции усилителя. Дополнительный подъем усиления на верхних частотах диапазона, где условия для генерации неблагоприятны, достигается введением в цепь коллектора транзистора T_1 корректирующего дросселя *Др*. Для этой же цели в качестве усилителя использован транзистор типа П401.

Для стабилизации амплитуды генерируемого сигнала в схему введена автоматическая регулировка усиления. Выходной сигнал детектируется в цепи R_4, *Д*, C_3,

и постоянная составляющая продетектированного сигнала через развязывающее сопротивление R_2 поступает на базу транзистора T_1, изменяя его смещение в соответствии с изменением амплитуды сигнала на сопротивлении R_5. В результате работы такой схемы изменения амплитуды выходного сигнала по диапазону не превышают 15%.

Генератор отделен от нагрузки буферным каскадом на транзисторе T_3, включенном по схеме с общим эмиттером, что обеспечивает практически полную независимость как амплитуды, так и частоты генерируемых колебаний от сопротивления нагрузки и позволяет работать на относительно низкоомные нагрузки.

Переключение поддиапазонов производится переключателем *П*, три платы которого коммутируют фазосдвигающую цепь, а четвертая — цепь питания генератора.

В генераторе использованы постоянные сопротивления типа УЛМ, переменное сопротивление R_5 типа СПО-0,5 и сдвоенное переменное сопротивление R_8R_9 типа СП. Если применено сопротивление типа СП с показательной зависимостью величины сопротивления от угла поворота оси (группа В), то шкала частот генератора получается практически линейной.

Корректирующий дроссель *Др* состоит из катушки, помещенной в броневой сердечник типа СБ-2а. Катушка наматывается на каркас проводом ПЭВ 0,1 до заполнения. В качестве T_1 желательно применение транзистора с коэффициентом усиления β не менее 80—100 и хорошей частотной характеристикой. Требования к параметрам транзисторов T_2 и T_3 некритичны. В качестве их можно использовать любые транзисторы общего применения. Питание генератора осуществляется от двух батарей типа КБС-х-0,70, соединенных последовательно.

ГЕНЕРАТОР ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ С ФИКСИРОВАННОЙ НАСТРОЙКОЙ

В большинстве практических случаев бывает достаточно, если генератор звуковой частоты может генерировать лишь несколько фиксированных частот. Такой генератор прост в настройке и обращении.

На рис. 13 показана принципиальная схема генератора, работающего на девяти фиксированных частотах

в диапазоне от 20 *гц* до 10 *кгц*. Максимальное значение амплитуды синусоидального напряжения на выходе генератора равно 2 *в*. Уровень выходного напряжения в приборе контролируется внутренним вольтметром. Уменьшение напряжения питания на 10% сопровождается уменьшением амплитуды выходного сигнала на 20%, если не производится регулировка обратной связи. При

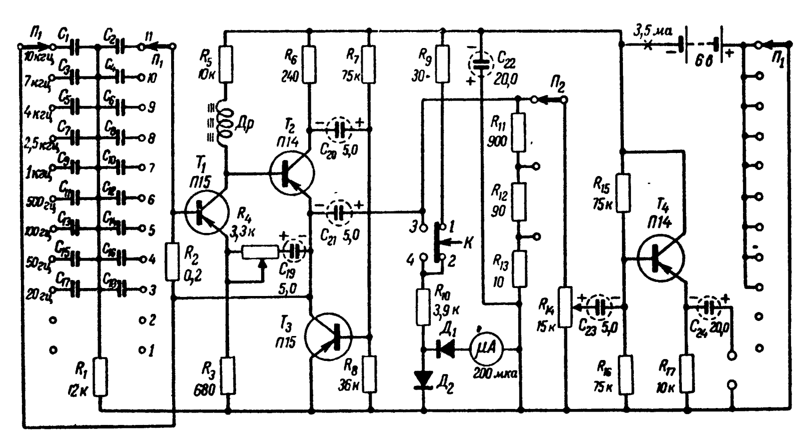


Рис. 13. Принципиальная схема генератора звуковой частоты с фиксированной настройкой.

$C_1=C_2=160$ *пф*; $C_3=C_4=430$ *пф*; $C_5=C_6=1\,000$ *пф*; $C_7=C_8=2\,200$ *пф*; $C_9=C_{10}=6\,800$ *пф*; $C_{11}=C_{12}=0{,}01$ *мкф*; $C_{13}=C_{14}=0{,}05$ *мкф*; $C_{15}=C_{16}=0{,}1$ *мкф*; $C_{17}=C_{18}=0{,}25$ *мкф*.

регулировке обратной связи изменение выходного напряжения пропорционально изменению напряжения питания.

Этот генератор отличается от описанных выше тем, что в нем применен эмиттерный повторитель на двух транзисторах T_2 и T_3, обладающий высоким входным сопротивлением. Это дает возможность повысить усиление по напряжению каскада с транзистором T_1, что обеспечивает равномерную амплитудную характеристику генератора во всем диапазоне частот и жесткую температурную стабилизацию в широком диапазоне температур. Коэффициент передачи такого эмиттерного повторителя весьма близок к единице за счет положительной обратной связи из цепи коллектора транзистора T_2 в цепь базы транзистора T_3. Положительная обратная

связь способствует также уменьшению выходного сопротивления генератора.

Генератор нагружен на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R_{11}—R_{13}. Сопротивления подобраны так, чтобы обеспечить возможность изменения (переключателем $П_2$) выходного сигнала в 10 и 100 раз.

Для уменьшения влияния нагрузки на генератор и уменьшения его выходного сопротивления, применен второй эмиттерный повторитель на транзисторе T_4, с эмиттера которого через конденсатор C_{24} снимается выходной сигнал.

К нагрузке эмиттерного повторителя T_2T_3 подключена цепь измерения выходного напряжения, состоящая из добавочного сопротивления R_{10}, диодов $Д_1$ и $Д_2$ и микроамперметра постоянного тока μA. Этим же прибором производится контроль напряжения питания генератора через сопротивление R_9 и кнопку K. При включении генератора контакты *1* и *2* кнопки замкнуты и прибор показывает величину питающего напряжения. Для измерения выходного сигнала генератора нажимается кнопка K. В этом случае замыкаются контакты *3—4*, подключая прибор к цепи сигнала.

Форма генерируемого сигнала, определяемая величиной положительной обратной связи, устанавливается регулировкой величины сопротивления R_4. Контроль формы сигнала может производиться по прибору. При чисто синусоидальном напряжении выходного сигнала отклонение стрелки прибора не превышает значения, соответствующего току через него 150 *мка*. При сильной положительной обратной связи создаются условия для возбуждения схемы в широком спектре частот. В результате этого форма генерируемого сигнала искажается до прямоугольных импульсов. Показания прибора при этом возрастают до 200 *мка*.

Ручка переменного сопротивления R_4, которым производится регулировка обратной связи, выносится на переднюю панель прибора, что позволяет получить от генератора два вида выходного сигнала (синусоидальный и импульсный).

Для переключения частот генерации в приборе использован трехплатный переключатель диапазонов $П_1$

на 11 положений. В двух первых положениях цепь питания генератора разомкнута.

Все детали генератора малогабаритные: сопротивления типа УЛМ и типа СПО-0,5 (R_4 и R_{14}), конденсаторы типа ЭМ (C_{19}—C_{24}), типа МБМ (C_{13}—C_{18}) и типа БМ (C_5—C_{12}). Подбирать конденсаторы для получения точных значений частот, указанных на схеме, не следует, так как ошибка по частоте на 5—10% не имеет большого значения. Вместо конденсаторов типа ЭМ можно применить конденсаторы типа ЭТО.

В генераторе используются транзисторы типов П14 и П15, которые, однако, могут быть без ущерба заменены транзисторами типов П6В и П6Г. В случае применения транзисторов типа П1 наиболее высокочастотный транзистор следует поставить в усилитель напряжения T_1. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ типа Д7Г.

Для питания генератора могут быть использованы четыре гальванических элемента типа ФБС-0,25 или типа 1,6-ФМЦ-у-3,2 («Сатурн»), а также две батареи типа КБС.

ПРОСТОЙ ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Проверку работы и настройку усилителей промежуточной и высокой частот в радиоприемниках можно произвести с помощью простого высокочастотного генератора с фиксированной настройкой. Для работы с усилителями промежуточной частоты генератор в зависимости от промежуточной частоты приемника может быть настроен на частоту 110 или 465 *кгц*. Этот же генератор можно использовать и для проверки входных цепей приемника в средневолновом диапазоне.

Принципиальная схема генератора высокой частоты приведена на рис. 14. Генератор настроен на частоту 465 *кгц*. При напряжении источника питания 1,5 *в* амплитуда высокочастотного сигнала достигает 0,15 *в*. При уменьшении напряжения источника питания до 0,7 *в*, а также при снижении нагрузки до 100 *ом* генератор перестает работать.

Генератор собран на транзисторе T_1 по трехточечной схеме с емкостной обратной связью. Резонансный контур в коллекторной цепи транзистора состоит из катушки индуктивности L_1 и включенной параллельно ей емкости,

образованной конденсаторами C_2 и C_3. Напряжение обратной связи подается на эмиттер транзистора с точки соединения этих конденсаторов. Величина обратной связи зависит от емкости конденсатора C_3 (емкость этого конденсатора берется обычно в 4—8 раз больше емкости конденсатора C_2).

Напряжение питания поступает на транзистор через сопротивление R_4 и дроссель *Др*. Последний, обладая большим сопротивлением для токов высокой частоты,

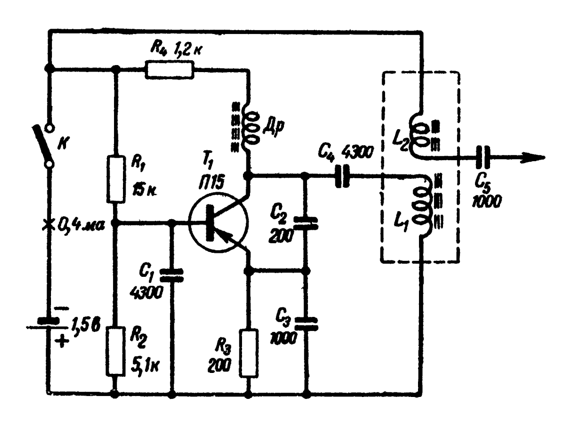


Рис. 14. Принципиальная схема генератора высокой частоты.

предотвращает шунтирование резонансного контура цепью низкоомного источника питания, потому что сопротивление R_4 из-за низкого напряжения питания не может быть выбрано большим.

Чтобы ток источника питания не проходил через катушку L_1, последовательно с ней включен конденсатор C_4. Емкость этого конденсатора выбирается достаточно большой по сравнению с емкостью резонансного контура, поэтому влияние конденсатора C_4 на частоту генерирования незначительно.

Рабочее смещение транзистора выбирается соотношением сопротивлений R_1 и R_2 в цепи базы. Для того чтобы по высокой частоте транзистор был включен по схеме с общей базой, цепь базы заземлена через конденсатор C_1 большой емкости. Напряжение высокой частоты подается на выходную клемму генератора с до-

полнительной обмотки L_2, индуктивно связанной с контурной катушкой.

Конструктивно высокочастотный генератор оформлен так же, как и низкочастотный (рис. 11). Его монтажная панель подобна панели низкочастотного генератора и может быть поставлена в корпус последнего. Генераторы высокой частоты, работающие в диапазонах длинных и средних волн, отличаются лишь параметрами контура. Поэтому может быть сделан комплект измерительных генераторов, каждый из которых настроен на одну из частот высокочастотного диапазона и смонтирован на отдельной панели. Полная взаимозаменяемость панелей позволяет попеременно устанавливать их в корпуса щупа.

Дроссель генератора *Др* намотан на каркасе, помещенном в броневой сердечник типа СБ-1а. Обмотка дросселя содержит 550 витков провода ПЭВ 0,06. Контурная катушка L_1 помещена в такой же сердечник и содержит 170 витков провода ПЭВ 0,1. Поверх катушки L_1 намотана катушка L_2, состоящая из 40 витков провода ПЭВ 0,1. В генераторе применены сопротивления типа УЛМ-0,12 и конденсаторы типа КТМ. На транзисторе типа П15 генератор работает до частоты 2,5 *Мгц*.

ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ С ПЛАВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ

Измерение амплитудно-частотных характеристик усилителей промежуточной и высокой частот и видеоусилителей, измерение коэффициентов усиления, проверка и настройка усилителей и многие другие измерения могут производиться с помощью высокочастотного сигнал-генератора, схема которого приведена на рис. 15.

Перекрываемый генератором диапазон частот от 50 *кгц* до 1,5 *Мгц* разбит на четыре поддиапазона. Максимальное выходное высокочастотное напряжение генератора на средней частоте каждого поддиапазона равно 0,8 *в* при нагрузке не менее 500 *ом*. При уменьшении напряжения питания на 20% максимальная амплитуда выходного напряжения уменьшается до 0,55 *в*. Выходное напряжение можно уменьшить скачками в 10 и 100 раз, а также изменять плавно до нуля.

Высокочастотный сигнал может быть модулирован

по амплитуде сигналом низкой частоты 400 *гц*. Глубина модуляции плавно регулируется от 0 до 100%. Напряжение низкой частоты 400 *гц* подается также на отдельное выходное гнездо. Амплитуда низкочастотного напряжения может быть плавно изменена от нуля до 2 *в* при сопротивлении нагрузки не менее 3 *ком*. При уменьше-

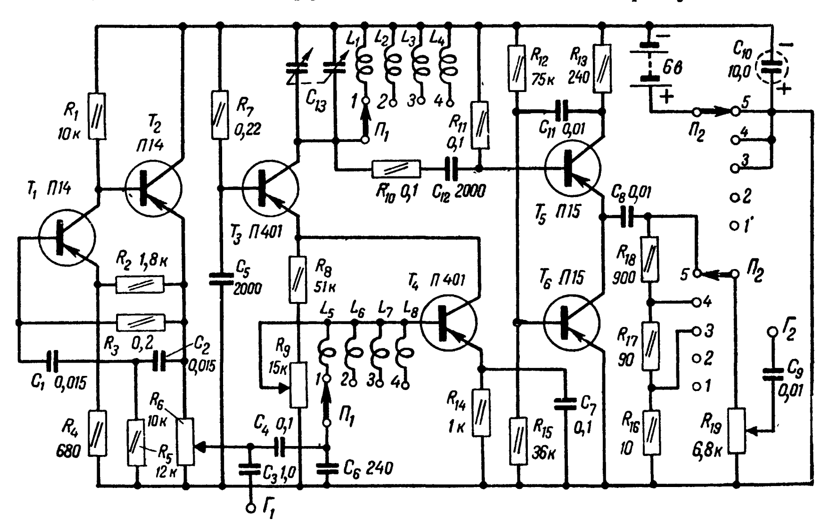


Рис. 15. Принципиальная схема сигнал-генератора высокой частоты с плавной перестройкой.

нии нагрузки до 2 *ком* выходное напряжение уменьшается вдвое. Уменьшение питающего напряжения на 20% сопровождается уменьшением максимальной амплитуды низкочастотного напряжения до 1 *в*.

Прибор питается от батареи напряжением 6 *в*. Потребляемый им от батареи ток не превышает 3,3 *ма*.

Высокочастотный генератор собран на транзисторах T_3 и T_4 по каскодной схеме. Транзистор T_4, включенный по схеме с общим эмиттером, непосредственно связан с транзистором T_3, включенным по схеме с общей базой, причем последний служит нагрузкой транзистора T_4. Для каскодной схемы характерно сочетание высокого входного сопротивления, свойственного каскаду с общим эмиттером, с высоким выходным сопротивлением каскада с общей базой. Это обстоятельство позво-

ляет упростить включение колебательного контура в коллекторную цепь транзистора T_3 и получить гораздо большее усиление, чем при обычной схеме. Возможность использования колебательного контура с высокой добротностью позволяет увеличить стабильность генерируемой частоты и облегчает возбуждение колебаний на высших частотах.

База транзистора T_3 блокирована по высокой частоте через конденсатор C_5. Конденсатор C_6 предотвращает замыкание базы транзистора T_4 по постоянному току. Сигнал возбуждения поступает на этот транзистор с катушек обратной связи L_5—L_8. Модулирующее низкочастотное напряжение подается на базу транзистора T_4 через конденсатор C_4. Получение неискаженного модулированного сигнала возможно лишь при правильно выбранном смещении на этот транзистор, которое получается путем регулировки переменного сопротивления R_9. Глубина модуляции зависит от амплитуды модулирующего напряжения и плавно регулируется потенциометром R_6.

Плавная перестройка генерируемой частоты в пределах поддиапазона производится конденсатором переменной емкости (сдвоенным) C_{13}, а смена поддиапазона — переключателем $П_1$, подключающим контурные катушки L_1—L_4 и соответствующие им катушки обратной связи L_5—L_8.

Напряжение высокой частоты подается на эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторах T_5 и T_6. Выходное напряжение с эмиттерного повторителя через аттенюатор R_{16}—R_{18} и потенциометр R_{19} поступает на выходное гнездо генератора $Г_2$. Ступенчатый аттенюатор позволяет уменьшать выходное напряжение в 10 или 100 раз.

Модулирующее напряжение с частотой 400 *гц* создается RC-генератором, собранным на транзисторах T_1 и T_2. Через конденсатор C_3 это напряжение поступает на выходное гнездо $Г_1$ генератора низкой частоты, а через конденсатор C_4 оно подается на генератор высокой частоты. Величина выходного напряжения плавно регулируется потенциометром R_6.

Применение в высокочастотном генераторе транзисторов типа П401 позволяет легко перекрыть весь диапазон частот без значительного изменения амплитуды

генерируемых колебаний в высокочастотной его части. Вместо них можно применить транзисторы типов П14, П15 или П6Г. Однако это приведет к значительному увеличению неравномерности выходного напряжения по диапазону и к трудности возбуждения на самом высокочастотном поддиапазоне, где эта неравномерность наибольшая. Если здесь выбрана связь (определяемая количеством витков катушек L_5—L_8 или емкостью конденсатора C_6), достаточная для возбуждения генератора на самом высокочастотном конце поддиапазона, то на низкочастотном его конце связь оказывается слишком сильной, что приводит к искажению формы генерируемых колебаний.

Контурные катушки L_1—L_4 намотаны на пластмассовых каркасах и помещены в броневые сердечники. Поверх каждой из них намотана катушка обратной связи (L_5—L_8 соответственно). Катушки L_1 из 400 витков и L_5 — из 40 витков провода ПЭВ 0,1 помещены в броневой сердечник типа СБ-2а. Катушки L_2 и L_6, L_3 и L_7, а также L_4 и L_8 помещены в броневые сердечники типа СБ-1а. Намотка этих катушек производится внавал проводом ПЭВ 0,1.

Для настройки генератора использован двухсекционный конденсатор переменной емкости от радиоприемника «Минск». Обе его секции включены параллельно.

Для включения прибора и ступенчатого изменения выходного напряжения высокой частоты используется переключатель диапазонов $П_2$ на пять положений. В первых двух положениях переключателя цепь питания прибора разомкнута и он не работает. При переключении его в четвертое и пятое положения высокочастотный сигнал увеличивается по амплитуде в 10 и 100 раз относительно сигнала при третьем положении переключателя.

Источником питания генератора служат четыре гальванических элемента типа ФБС-0,25.

ИЗМЕРИТЕЛЬ НИЗКИХ ЧАСТОТ

Для измерения частоты и градуировки низкочастотных генераторов можно применить частотомер, схема которого приведена на рис. 16.

Весь диапазон измеряемых прибором частот 10 *гц*— 100 *кгц* разбит на четыре поддиапазона: 10—100 *гц*;

100—1000 *гц*; 1 *кгц*—10 *кгц*; 10 *кгц*—100 *кгц*. На частотах до 10 *кгц* напряжение сигнала, частота которого измеряется, должно быть не менее 0,1 *в*, а для частот от 10 до 100 *кгц* — не менее 0,2 *в*.

Прибор работает следующим образом. Напряжение измеряемой частоты подается на входной потенциометр R_1. Последний позволяет предотвратить перегрузку усилителя в том случае, если напряжение сигнала пре-

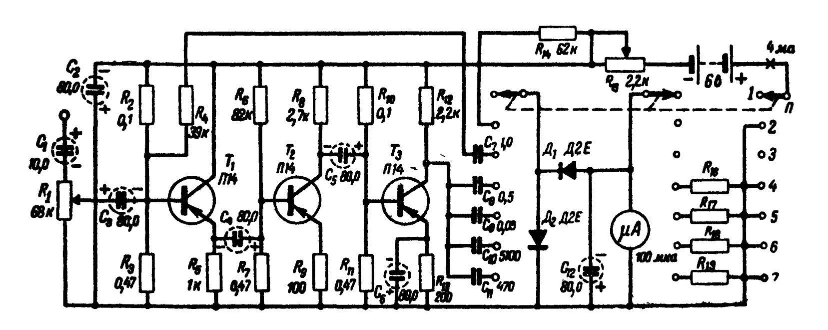


Рис. 16. Принципиальная схема измерителя низких частот.

вышает 10 *в*. После эмиттерного повторителя на транзисторе T_1, который служит для увеличения входного сопротивления частотомера, сигнал поступает на усилитель на транзисторе T_2, а затем на ограничитель-усилитель на транзисторе T_3.

Если напряжение измеряемого сигнала превышает 0,2 *в* (или 0,1 *в* для частот до 10 *кгц*), то за счет усиления транзистором T_2 оно достигает такой величины, при которой транзистор T_3 работает в режиме ограничения. В результате этого в коллекторной цепи транзистора T_3 сигнал имеет форму прямоугольных импульсов, следующих с частотой повторения измеряемого сигнала. Эти импульсы заряжают один из конденсаторов C_8—C_{11}. Так как амплитуда импульсов постоянна и равна приблизительно напряжению питания, то среднее значение тока, протекающего через один из конденсаторов C_8—C_{11} и микроамперметр μA, прямо пропорционально частоте следования импульсов. Выпрямление тока производится диодами $Д_1$ и $Д_2$, а сглаживание пульсаций — конденсатором C_{12}.

Для того чтобы градуировка прибора совпадала на всех четырех поддиапазонах, емкости конденсаторов C_8—C_{11} должны быть подобраны очень точно и относиться как 1 : 10 : 100 : 1 000. Так как точно подобрать эти емкости трудно, то для совмещения шкал используются добавочные сопротивления R_{16}—R_{19}, которые, шунтируя микроамперметр, изменяют его чувствительность.

При настройке прибора измеряется значение какой-либо частоты в середине каждого из поддиапазонов и грубо оценивается, в каком из поддиапазонов показания наиболее заниженные. На этом поддиапазоне производится начальная калибровка прибора путем подбора такой величины добавочного сопротивления, чтобы средняя частота поддиапазона совпала со средним делением шкалы прибора. Затем эту операцию повторяют для всех остальных поддиапазонов.

В связи с тем, что показания прибора пропорциональны величине питающего напряжения, последнее надо поддерживать всегда постоянным. Поэтому на усилитель частотомера подается напряжение, несколько меньшее, чем напряжение батареи. Часть напряжения батареи гасится на сопротивлении R_{15}, величину которого можно изменять. Контроль величины напряжения питания усилителя производится с помощью вольтметра со шкалой на 10 *в*, образованного микроамперметром и добавочным сопротивлением R_{14}. Установка напряжения питания производится переменным сопротивлением R_{15} при каждом включении прибора.

Микроамперметр, кроме того, может использоваться как вольтметр переменного напряжения со шкалой на 10 *в*. В этом случае переключатель *П* ставится в положение *3*.

Все переключения в приборе производятся переключателем *П* на семь положений. В положениях *1* и *3* переключателя питающее напряжение на усилитель не подается. Измерение величины питающего напряжения производится в положении *2*, а измерение величины сигнала — в положении *3*.

Измерение частоты можно производить при напряжении входного сигнала от 0,2 до 10 *в*. Однако при разных напряжениях сигнала показания прибора несколько различаются. Поэтому градуировка прибора по частоте производится при напряжении входного сигнала 1 *в*.

Перед измерением частоты потенциометром R_1 устанавливается это значение входного напряжения на базе транзистора T_1. Если напряжение измеряемого сигнала меньше 1 *в*, то возникает ошибка измерения, максимальная величина которой при входном сигнале 0,2 *в* не превышает 10%.

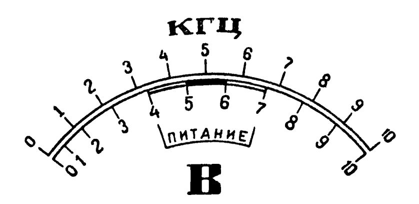


Рис. 17. Шкала измерителя низких частот.

Переключатель *П* при измерении частоты устанавливается в положение *4*, соответствующее наиболее низкочастотному поддиапазону. Если при этом стрелка микроамперметра уходит за шкалу, то переключатель следует перевести в положение *5*, и т. д. Когда устанавливается поддиапазон, в пределах которого лежит измеряемая частота, стрелка прибора, отградуированного в единицах частоты, показывает значение этой частоты.

Для питания прибора применяются четыре элемента типов ФБС-0,25 или 1,6-ФМЦ-у-3,2.

Шкала микроамперметра отградуирована в значениях частоты. Для измерения входного напряжения используется вторая шкала, в середине которой нанесены деления для контроля питающего напряжения. Внешний вид шкалы частотомера приведен на рис. 17.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ЕМКОСТИ

Для измерения емкости применяемых в радиоаппаратуре конденсаторов может быть использован электронный прибор, схема которого приведена на рис. 18. Прибор позволяет измерять емкости до 10 *мкф* на линейной шкале и до 100 *мкф* на нелинейной шкале. Измерения производятся в пяти поддиапазонах: 0—100 *пф*; 0—1 000 *пф*; 0—0,01 *мкф*; 0—1 *мкф*; 0—10 *мкф*. По линейной шкале отсчет производится с точностью не ниже 1—2%. Для расширения пределов измерения в сторону бо́льших значений емкости может быть дополнительно использована нелинейная шкала, позволяющая измерять емкости в следующих поддиапазонах (соответствующих поддиапазонам линейной шкалы): 100—1 000 *пф*; 1 000 *пф* — 0,01 *мкф*;

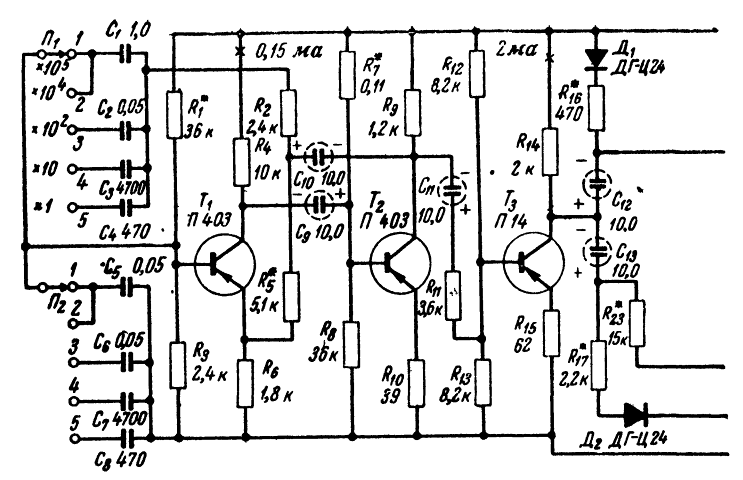


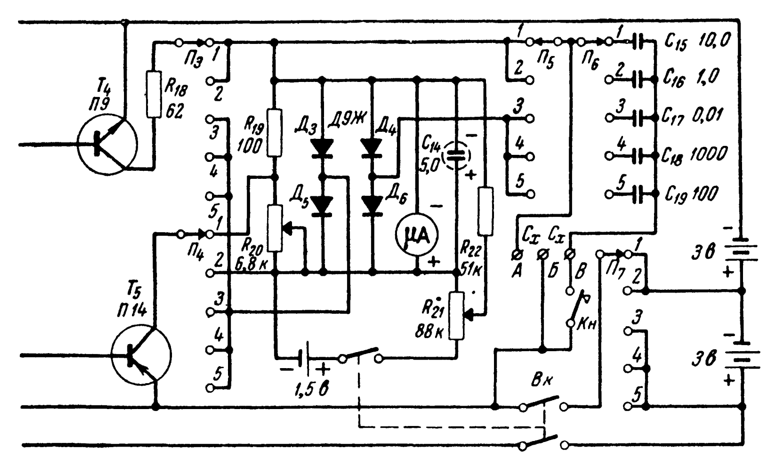
Рис. 18. Принципиальная схема

0,01—0,1 *мкф*; 1—10 *мкф*; 10—100 *мкф*. Точность измерения по нелинейной шкале не ниже 5—10%.

Генератор прибора питается от четырех гальванических элементов типа ФБС-0,25 и потребляет ток 5 *ма*. Пятый элемент (тоже ФБС-0,25) используется для балансировки нуля микроамперметра.

Для создания зарядно-разрядных циклов с определенным периодом повторения в схеме использован синусоидальный генератор на транзисторах T_1 и T_2 и усилитель-ограничитель на транзисторе T_3. В соответствии с поддиапазонами измеряемых емкостей генератор работает на одной из следующих частот: 60 *гц*; 1,2 *кгц*; 12 *кгц*; 120 *кгц*. Изменение частоты генерации осуществляется переключением конденсаторов C_1C_5, C_2C_6 и т. д. Амплитуда выходного напряжения генератора составляет 2—2,5 *в*. Через цепь $C_{11}R_{11}$ синусоидальный сигнал подается на усилитель-ограничитель, прямоугольные выходные импульсы которого и используются для коммутации зарядной и разрядной цепей измерительной схемы.

При появлении положительного импульса на коллекторе транзистора T_3 зарядный транзистор T_4 открывается, а разрядный транзистор T_5 закрывается. Через цепь транзистор T_4— контакты *3*, *4* или *5* переключателя $П_3$ — диод $Д_3$ — микроамперметр μ*A* — диод $Д_6$ — контакты *3*, *4* или *5* переключателя $П_5$ — зажимы *А* и *Б*



измерителя емкости.

измеряемая емкость C_x заряжается до напряжения источника питания. После изменения полярности коммутирующего импульса на коллекторе транзистора T_3 транзистор T_4 закрывается, и емкость C_x разряжается через цепь диод $Д_4$— микроамперметр μA — диод $Д_5$— открывшийся транзистор T_5. Таким образом, через микроамперметр проходит как ток заряда, так и ток разряда конденсатора, текущие в одном направлении в диагонали моста, в которую включен микроамперметр. Вследствие инерционности подвижной системы микроамперметра его стрелка реагирует на среднее значение проходящего тока, а суммирование токов заряда и разряда вдвое повышает чувствительность прибора.

При измерении в диапазонах 0—1 *мкф* и 0—10 *мкф* потребовались бы частоты порядка 10 и 1 *гц* соответственно. При более высоких частотах коммутации емкости в 1 *мкф* и 10 *мкф* не успевают полностью зарядиться за время действия импульса. Однако очень низкие частоты коммутации затрудняют отсчет по микроамперметру, так как из-за инерционности его подвижной системы стрелка не будет показывать среднее значение протекающего тока (она будет совершать колебания с частотой коммутации). Поэтому в этих поддиапазонах схема измерительной части прибора несколько видоизменена. Из зарядной и разрядной цепей исключаются (соответствующей коммутацией этих цепей пере-

ключателями $П_3, П_4, П_5$ и $П_7$) диоды измерительного моста, и микроамперметр μA непосредственно включается в коллекторную цепь разрядного транзистора T_5. При таком включении измеряется лишь средний ток разряда емкости C_x, предварительно заряженной через транзистор T_4. Разряд этой емкости происходит через микроамперметр и транзистор T_5. Из-за низкой частоты коммутации средний ток разряда относительно велик, поэтому микроамперметр шунтируется в поддиапазоне 0—10 *мкф* сопротивлением R_{19}, снижающим его чувствительность до 1,5 *ма* (вместо приблизительно 100 *мка* на других поддиапазонах). Начальный коллекторный ток, протекающий через микроамперметр, при такой схеме включения не превышает 1 *мка* на частоте 60 *гц*. Значительное уменьшение зарядного и разрядного времени позволяет производить измерения в поддиапазонах 0—1 и 0—10 *мкф* при частоте следования коммутирующих импульсов 60 *гц*.

Эталонные конденсаторы C_{15}—C_{19} используются для калибровки прибора перед измерением на каждом из поддиапазонов. При установке переключателя на выбранный поддиапазон один из эталонных конденсаторов (через соответствующий контакт переключателя $П_6$) подключается к зажимам *А* и *В* и при нажатой кнопке *Кн*, замыкающей цепь его заряда, выполняет роль измеряемой емкости (при условии, что емкость C_x не подключена). Потенциометром R_{20}, регулирующим чувствительность микроамперметра, производится установка стрелки микроамперметра на деление, соответствующее значению емкости эталонного конденсатора. После этого может производиться измерение неизвестной емкости C_x.

Для компенсации отклонения стрелки микроамперметра от нуля за счет начального тока использована цепь, состоящая из гальванического элемента (1,5 *в*) и сопротивлений R_{21} и R_{22}. Величина компенсирующего тока устанавливается регулировкой переменного сопротивления R_{21}.

При измерении больших емкостей (по нелинейной шкале) неизвестная емкость C_x подключается к зажимам *Б* и *В*. Тогда она оказывается соединенной последовательно с одним из эталонных конденсаторов C_{15}—C_{19} (в зависимости от поддиапазона). Таким образом осу-

ществляется измерение полной емкости этой цепи, однако шкала прибора проградуирована в значениях лишь измеряемой емкости.

В приборе применен микроамперметр типа М24 чувствительностью 100 *мка*. Сопротивление рамки микроамперметра должно быть возможно меньше (в описываемом приборе оно равно 630 *ом*). Транзисторы T_1 и T_2 — типа П403. В первом каскаде могут быть также использованы транзисторы П6Г, П14 и П15, однако это приводит к трудности возбуждения генерации на высших частотах и к необходимости уменьшения емкости конденсаторов C_4 и C_8 до 300—400 *пф*, что нежелательно. Вместо транзисторов типа П14 (T_3 и T_5) могут быть использованы любые из перечисленных выше транзисторов. Диоды $Д_3$—$Д_6$ — точечного типа. Они должны обладать наименьшим прямым и бóльшим обратным сопротивлением. Прямое сопротивление каждого из них не должно превышать 2—3 *ком* при прямом падении напряжения на диоде 0,1 *в*. Обратное сопротивление при том же напряжении должно быть больше 50 *ком*. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ — плоскостные; их параметры не критичны. Эталонные конденсаторы C_{15}—C_{19} подбираются с возможно большей точностью, так как ими в основном определяется точность измерения.

Разметка нелинейной шкалы может быть произведена на основании делений линейной шкалы. При линейной шкале в 100 делений положение делений нелинейной шкалы может быть рассчитано по следующей формуле:

$$X_{\text{лин}} = \frac{100 \cdot X_{\text{нел}}}{100 + X_{\text{нел}}},$$

где $X_{\text{лин}}$ и $X_{\text{нел}}$ — значения совпадающих делений на линейной и нелинейной шкалах (одинаковое отклонение стрелки прибора).

При монтаже прибора необходимо учесть, что для его правильной работы паразитные емкости цепи измерительного моста должны быть возможно меньше. Эти емкости на последних поддиапазонах составляют заметную часть полной емкости зарядно-разрядной цепи, поэтому монтаж измерительной схемы должен быть выполнен очень аккуратно и наиболее короткими проводниками.

Налаживание прибора начинается с генератора. Подбором сопротивлений R_1 и R_7 добиваются возникновения генерации, о наличии которой судят по изменению напряжения на коллекторе транзистора T_2. Затем подбирается сопротивление R_5 (его надо постепенно уменьшать до срыва колебаний). Окончательно величину сопротивления R_5 устанавливают несколько большей того значения, при котором происходит срыв колебаний. Сопротивление R_{12} выбирается таким, чтобы коллекторный ток транзистора T_3 был равен 2 *ма*.

При налаживании измерительной схемы надо подобрать сопротивления R_{16} и R_{17} (начальное их значение 3—5 *ком*). Для этого переключатель поддиапазонов устанавливают в положение *2* и (при небольшой величине сопротивления R_{20}) уменьшают величину сопротивлений R_{16} и R_{17} (до тех пор, пока ток через микроамперметр не будет превышать 0,5—1 *мка*).

Измерение прибором емкости производится в следующем порядке. После включения напряжения питания (тумблером *Вк*) переключатель поддиапазонов устанавливается в положение, соответствующее необходимому поддиапазону измерения. Потенциометром R_{21} («установка нуля») производится компенсация начального тока микроамперметра (стрелка совмещается с нулевым делением шкалы). Затем нажимается кнопка *Кн* и с помощью потенциометра R_{20} («калибровка») стрелка микроамперметра устанавливается на крайнее правое деление шкалы («100» на линейной шкале). После этого кнопка отпускается и измеряемая емкость подключается к зажимам *А* и *Б* (при измерении по линейной шкале) или *Б* и *В* (при измерении по нелинейной шкале). Значение измеряемой емкости подсчитывается умножением показаний прибора на множитель соответствующего поддиапазона, который в положениях *1*, *2*, *3*, *4* и *5* переключателя соответственно равен 10^5, 10^4, 10^2, 10 и 1.

При измерении емкости электролитических конденсаторов их положительный вывод всегда следует подключать к зажиму *Б*.

Цена 9 коп.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Вышли из печати следующие выпуски

А. Г. Дольник, Громкоговорители (изд. 3-е, переработ. и дополн.), 88 стр., тираж 55 000 экз. (1-й завод 10 000 экз.), ц. 20 коп., вып. 401.

С. В. Литвинов, Радиовещательная аппаратура на ВДНХ, 72 стр., тираж 42 000 экз., ц. 16 коп., вып. 402.

Л. В. Федоров, Телевизионная аппаратура на ВДНХ, 80 стр., тираж 50 000 экз, ц. 17 коп., вып. 403.

В. А. Батраков и В. И. Богатырев, Электронные цифровые машины для решения информационно-логических задач, 80 стр., тираж 40 000 экз. (1-й завод 15 000 экз.), ц. 17 коп, вып. 404.

Л. Д. Фельдман, Как работает телевизор, 168 стр, 100 000 экз. (1-й завод 10 000 экз.), ц. 36 коп., вып. 405.

Я. М. Сорин, Надежность радиоэлектронной аппаратуры, 72 стр, тираж 46 000 экз, 16 коп., вып. 406.

Л. Т. Вингрис и Ю. А. Скрин, Любительские конструкции многоголосных электромузыкальных инструментов, 72 стр., тираж 30 000 экз, ц. 15 коп., вып. 407.

М. М. Румянцев, Любительский карманный приемник «Малыш», 32 стр., тираж 100 000 экз. (1-й завод 20 000 экз), ц. 6 коп, вып. 408.

В. И. Елатомцев, Универсальный измерительный прибор с испытателем радиоламп и транзисторов, 40 стр., тираж 40 000 экз., ц. 9 коп.

Г. А. Васильев, Запись звука на целлулоидных дисках, 80 стр, тираж 40 000 экз., 18 коп., вып. 411.

Печатаются

В. Ю. Рогинский, Выпрямители.

С. М. Флейшер, Новое в радиовещательных приемниках.

Л. М. Регельсон, Блокинг-генератор.

А. П. Ложников и Е. К. Сонин, Каскодные усилители.

Л. П. Крайзмер, Новые элементы электронных цифровых машин.

Ю. М. Шашин, Электроника в фотографии.

В. М. Большов, Схемы радиолюбительских усилителей низкой частоты.

Госэнергоиздат заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга—почтой».

Отделения «Книга—почтой» имеются во всех республиканских, краевых и областных центрах СССР.

Заказ следует адресовать так: название республиканского, краевого или областного центра, книготорг, отделению «Книга—почтой».

Рекомендуем заказывать литературу только на последние выпуски текущего года. Книги Массовой радиобиблиотеки расходятся очень быстро и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распроданы.